

(19) BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND

DEUTSCHES  
PATENTAMT(12) **Offenlegungsschrift**(11) **DE 3538964 A1**

(51) Int. Cl. 4:

**G01S 7/52**

H 04 R 3/04

(21) Aktenzeichen: P 35 38 964.8  
 (22) Anmeldetag: 2. 11. 85  
 (43) Offenlegungstag: 14. 5. 87

## (71) Anmelder:

SWF Auto-Electric GmbH, 7120  
Bietigheim-Bissingen, DE

## (72) Erfinder:

Illg, Thomas; Ruff, Herbert, 7120  
Bietigheim-Bissingen, DE

## (54) Einrichtung zur Abstandsmessung, insbesondere für Kraftfahrzeuge

Es wird eine Einrichtung zur Abstandsmessung beschrieben, bei der das Frequenzverhalten des Wandlers insbesondere bei schwankenden Umgebungstemperaturen verbessert wird.

DE 3538964 A1

DE 3538964 A1

## Patentansprüche

1. Einrichtung zur Abstandsmessung, insbesondere für Kraftfahrzeuge, mit wenigstens einem elektroakustischen Wandler zum Aussenden und Empfangen eines Ultraschallsignales, wobei dem Wandler zur Verbesserung des Frequenzverhaltens ein Schaltkreis aus induktiven und/oder kapazitiven und/oder ohmischen Bauelementen vorgeschaltet ist, dadurch gekennzeichnet, daß dieser Schaltkreis (5) temperaturabhängige Eigenschaften dieses Wandlers (10) kompensiert.
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die temperaturabhängigen Bauelemente (30,20,21) des Schaltkreises (5) in den Wandler (10) integriert und thermisch vorzugsweise mit der Membran (12) des Wandlers (10) gekoppelt sind.
3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wandler (10) eine temperaturabhängige Kapazität (30) parallelgeschaltet ist, die den Temperaturgang der elektrischen Parallelkapazität (CO) des Wandlers (10) kompensiert.
4. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wandler (10) eine temperaturabhängige Induktivität (20) parallelgeschaltet ist.
5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die temperaturabhängige Induktivität (20) durch eine Spule (40) mit einem von einem temperaturabhängigen Element, z.B. einer Bimetallfeder (42) verstellbaren Kern (41) realisiert ist.
6. Einrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das temperaturabhängige Element (42) mit der Membran (12) des Wandlers (10) thermisch gekoppelt ist.
7. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß dem Wandler (10) ein temperaturabhängiger Widerstand (21), vorzugsweise ein NTC-Widerstand parallelgeschaltet ist.
8. Einrichtung nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei mehreren über unterschiedlich lange Kabel an eine gemeinsame Signalauswertestufe (16) angeschlossenen Wandlern (10,10') den jeweils kürzeren Kabeln eine Kapazität (50) zugeschaltet ist.
9. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Schaltkreis (5) mehrere Bauelemente (20, 21) aufweist, die einzeln oder in bestimmten Kombinationen in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal einer die Wandtereigenschaften erfassenden Schaltstufe (60) dem Wandler (10) zugeschaltet werden.
10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Schaltstufe von dem Wert der elektrischen Parallelkapazität (CO) des Wandlers (10) abhängt.
11. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Schaltstufe (60) von der Auf- oder Entladzeit der mit einem Gleichspannungsimpuls gespeisten elektrischen Parallelkapazität (CO) des Wandlers (10) abhängt.
12. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal der Schaltstufe (60) von der Form der Hüllkurve des Wandlersondesignals, insbesondere von deren Steilheit abhängt.

5

13. Einrichtung nach wenigstens einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Wandler (10) zugeschalteten Bauelemente Induktivitäten, Kondensatoren und/oder ohmsche Widerstände sind.

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung zur Abstandsmessung, insbesondere für Kraftfahrzeuge, gemäß den Merkmalen des Oberbegriffs des Anspruchs 1.

Eine derartige Einrichtung zur Abstandsmessung ist aus der DE-OS 33 47 442 bekannt. Wesentlich für die einwandfreie Funktion einer solchen Abstandsmeßeinrichtung sind u.a. die Betriebseigenschaften der verwendeten Wandler. Dabei sind Fertigungstoleranzen zu berücksichtigen, die das Frequenzverhalten des Wandlers beeinflussen. Für den vorgesehenen Anwendungsfall kommt es aber entscheidend darauf an, daß der Wandler eine bestimmte Bandbreite aufweist und eine bestimmte Ausschwingzeit bei impulsweiser Erregung nicht überschritten wird.

Aus der DE-PS 30 03 317 ist bekannt, daß man die Eigenschaften des Wandlers durch einen vorgeschalteten Schaltkreis mit induktiven und/oder kapazitiven und/oder ohmischen Bauelementen beeinflussen kann. Bei der praktischen Erprobung mit unterschiedlich ausgelegten, dem Wandler vorgeschalteten Schaltkreisen hat sich jedoch ergeben, daß bisher nicht alle Anforderungen erfüllt werden konnten.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Einrichtung zur Abstandsmessung derart zu verbessern, daß auch bei Umwelteinflüssen, wie sie bei einem Kraftfahrzeug vorliegen, genauere Meßergebnisse erwartet werden können.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Der Erfindung liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, daß der in einem Kraftfahrzeug eingegebauter Wandler erheblichen Temperaturschwankungen ausgesetzt ist, die das Meßergebnis beeinflussen. Erfundungsgemäß wird daher vorgeschlagen, den dem Wandler vorgeschalteten Schaltkreis so aufzubauen und zu dimensionieren, daß die temperaturabhängigen Eigenschaften des Wandlers in einem weiten Bereich kompensiert werden.

Dieser Grundgedanke der Erfindung kann auf unterschiedliche Weise realisiert werden. Bei einer ersten Ausführung wird ein temperaturabhängiges Bauelement in den Wandler integriert und vorzugsweise thermisch mit der Membran des Wandlers gekoppelt. Eine solche Lösung wird dann angestrebt, wenn die Wandler reproduzierbar mit großer Genauigkeit gefertigt werden können. Dann kann nämlich dieses Problem durch Zuschalten eines Bauelementes mit einem bestimmten Temperaturgang auf einfache Weise gelöst werden.

Allerdings ist die Fertigung derartiger Ultraschallwandler nicht ganz einfach und verhältnismäßig kostspielig, wenn man enge Toleranzen erreichen will. Bei einer anderen Alternative des Grundgedankens der vorliegenden Erfindung wird daher ein automatischer Abgleich vorgesehen, in dem man mit einer Schaltstufe bestimmte Wandtereigenschaften erfaßt und in Abhängigkeit von dem Ausgangssignal dieser Schaltstufe Bauelemente einzeln oder in Kombination dem Wandler vorschaltet. Ein wesentlicher Vorteil dieser Alternative besteht darin, daß ein Austausch des Wandlers gegen einen anderen, der abweichende Betriebseigenschaften

aufweist, ohne Schwierigkeiten möglich ist, da die geänderten Eigenschaften automatisch beim nächsten Abgleich berücksichtigt werden. Außerdem wird auch der Einfluß unterschiedlicher Kabellängen zwischen mehreren Wandlern und einer gemeinsamen Auswertestufe selbstätig berücksichtigt.

Die Erfindung und deren vorteilhafte Ausgestaltungen werden nachstehend anhand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild einer ersten Ausführungsform mit einem temperaturabhängigen Bauelement in thermischem Kontakt mit dem Wandler,

Fig. 2 ein Prinzipschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispieles dieser Art und

Fig. 3 ein Prinzipschaltbild der anderen Alternative mit einem automatischen Abgleich.

Zu der Abstandsmeßeinrichtung gehört ein insgesamt mit 10 bezeichneter Wandler zum Aussenden und Empfangen eines Ultraschallsignales mit einer piezokeramischen Scheibe 11 und einer Membran 12. Der Aufbau eines solchen Wandlers ist in der DE-OS 33 47 442 beschrieben, so daß sich hier nähere Erläuterungen erübrigen. Außerdem ist in Fig. 1 noch angedeutet, daß zu der Abstandsmeßeinrichtung wenigstens ein zweiter Wandler 10 gehört, wobei die Empfangssignale der beiden Wandlern über einen Umschalter 15 wechselweise einer Signalauswertestufe 16 zugeführt werden. Die übrigen zu der Abstandsmeßeinrichtung gehörenden Schaltkreise sind nicht näher angedeutet, weil sie für die vorliegende Erfindung nicht wesentlich und im übrigen in der genannten Offenlegungsschrift im einzelnen beschrieben sind.

Das Verhalten eines solchen Ultraschallwandlers 10 kann näherungsweise durch das in Fig. 1 dargestellte Ersatzschaltbild beschrieben werden. Man erkennt eine Reihenschaltung aus dem Widerstand  $R_1$ , der Induktivität  $L_1$  und der Kapazität  $C_1$ , die einen Reihenschwingkreis bilden und die Resonanzfrequenz des Wandlers bestimmen. Die Werte dieser Bauelemente hängen im wesentlichen von dem mechanischen Aufbau des Wandlers ab. Außerdem muß noch die elektrische Kapazität  $CO$  der piezokeramischen Scheibe mit ihrem Verlustwiderstand  $RO$  berücksichtigt werden, die beide diesem Reihenschwingkreis parallelgeschaltet sind.

Parallel zum Wandler liegt eine Induktivität  $20$  sowie ein ohmscher Widerstand  $21$ . Die Induktivität  $20$  bildet zusammen mit der Kapazität  $CO$  einen Parallelschwingkreis, dessen Resonanzfrequenz auf die Resonanzfrequenz des Reihenschwingkreises abgestimmt wird. Der Parallelschwingkreis bildet dann gewissermaßen eine Dämpfung für den Reihenschwingkreis, was sich im Sinne eines kurzen Ausschwingvorganges bei impulsweiser Ansteuerung des Wandlers positiv auswirkt. Der Widerstand  $21$  wird auf die Impedanz des Parallelschwingkreises bestehend aus der Kapazität  $CO$  und der Induktivität  $20$  so abgestimmt, daß ein optimales Ausschwingen des Sendesignales erreicht wird. Natürlich muß der Eingangswiderstand der Signalauswertestufe 16 entsprechend angepaßt werden. Insgesamt wird durch diese Maßnahmen die Bandbreite des Wandlers erhöht, so daß der Wandler über ein breites Frequenzband annähernd konstante Betriebseigenschaften aufweist.

Es wurde schon erwähnt, daß der vorliegenden Erfindung die durch umfangreiche Versuchsreihen gewonne Erkenntnis zugrundeliegt, daß sich die elektrischen Werte des Wandlers bei Temperaturschwankungen stark ändern. Der ausschlaggebende Faktor ist dabei der

sehr große Temperaturgang der elektrischen Parallelkapazität  $CO$ . In dem großen Temperaturbereich von  $-40^\circ\text{C}$  bis  $+80^\circ\text{C}$  ändert sich damit auch die bei einer bestimmten Bezugstemperatur im Hinblick auf einen kurzen Ausschwingvorgang optimal eingestellte Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises mit der Kapazität  $CO$  und der Induktivität  $20$ . Damit ändert sich auch die Impedanz des Wandlers in Abhängigkeit von der Temperatur, so daß auch der bei einer bestimmten Bezugstemperatur bestimmte Wert des Widerstandes  $21$  nicht mehr optimal ist.

Insgesamt kann also festgestellt werden, daß die Betriebseigenschaften der bisher bekannten Wandler, insbesondere deren Ausschwingzeit nur bei einer Bezugstemperatur optimal den Anforderungen entsprechen. Bei Abweichungen von dieser Bezugstemperatur verschiebt sich die Resonanzfrequenz und die Ausschwingzeit wird vergrößert, so daß insbesondere kleine Abstände nicht mehr mit der erforderlichen Sicherheit gemessen werden können.

Dieser Mangel wird nun bei der in Fig. 1 dargestellten Alternative dadurch behoben, daß ein temperaturabhängiger Kondensator  $30$  parallel zum Wandler  $10$  geschaltet wird, der den Temperaturgang der Kapazität  $CO$  gegenläufig ausgleicht. Dies wird bestmöglich dann erreicht, wenn dieser Kondensator  $30$  in den Wandler integriert und vorzugsweise mit der Membran  $12$  thermisch gekoppelt wird. Allerdings muß dabei berücksichtigt werden, daß eine Parallelschaltung eines Kondensators zum Wandler dessen Eigenschaften verschlechtert. Die Kapazität dieses Kondensators sollte daher möglichst klein sein. Die Temperaturabhängigkeit sollte jedoch sehr groß sein. Bei einer praktischen Ausführung wurde eine Keramikkondensator von  $680 \text{ pF}$ , N 5600 bei einem Wandler mit  $CO = 2,5 \text{ nF}$  verwendet.

Fig. 2 zeigt ein anderes Ausführungsbeispiel nach demselben Prinzip, bei dem ein Bauelement in thermischem Kontakt mit dem Wandler angeordnet ist. Man erkennt eine Spule  $40$  mit einem verschiebbaren Kern  $41$ , der über ein temperaturabhängiges Element, nämlich etwa eine Bimetallscheibe  $42$  verstellbar ist. Die Verhältnisse sind dabei so ausgelegt, daß die Induktivität dieser Spule  $40$  in Abhängigkeit von der Temperatur so geändert wird, daß die Resonanzfrequenz des Parallelschwingkreises zusammen mit der Kapazität  $CO$  zur Resonanzfrequenz des Reihenschwingkreises in einem optimalen Zusammenhang bezüglich einer kurzen Ausschwingzeit steht. Bei dieser Ausführung wird das temperaturabhängige Element  $42$  in thermischen Kontakt mit der Membran  $12$  des Wandlers  $10$  gebracht, wobei natürlich darauf zu achten ist, daß dadurch die Wandereigenschaften ansonsten nicht beeinflußt werden. Bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 ersetzt also die Spule  $40$  die Induktivität  $20$  gemäß Fig. 1. Versuche haben gezeigt, daß die Induktivität der Spule innerhalb des angegebenen Temperaturbereiches über einen ausreichen großen Bereich verändert werden kann, so daß bei exakter Auslegung und Dimensionierung gegenüber den bisher üblichen Ausführungen stark verbesserte Wandereigenschaften erzielbar sind.

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich bei Temperaturänderungen auch die Impedanz des Wandlers ändert. Zur Verbesserung der Wandereigenschaften wird deshalb vorgeschlagen, auch den Wert des Widerstandes  $21$  temperaturabhängig zu verändern. Deshalb wird wie Fig. 2 zeigt, dieser Widerstand  $21$  in den Wandler  $10$  integriert, wobei dieser NTC-Widerstand einen negativen Temperaturkoeffizienten aufweist. Nur

der Ordnung halber wird darauf hingewiesen, daß in den Zeichnungen nur das Prinzip der Erfindung wiedergegeben wird. Selbstverständlich kann es in Einzelfällen zweckmäßig sein, anstelle einer einzigen Kapazität oder Induktivität oder eines einzigen Widerstandes mehrere derartige Bauelemente mit unterschiedlichem Verhalten zu einem Netzwerk zusammenzuschalten. Insbesondere bei der Auslegung dieses temperaturabhängigen Widerstandes 21 wird man nämlich auch den Eingangswiderstand der Auswerteschaltstufe 16 berücksichtigen.

Bei den bisher beschriebenen Ausführungsbeispielen wird also dem Wandler ein Schaltkreis 5 vorgeschaltet, der die temperaturabhängigen Eigenschaften des Wandlers kompensiert. Dabei werden die Bauelemente dieses Schaltkreises, nämlich der Kondensator 30 oder die Spule 40 oder der Widerstand 21 in den Wandler integriert und thermisch mit diesem gekoppelt. Bei einer solchen Ausführung muß anfangs ein eimaliger Abgleich erfolgen, damit optimale Verhältnisse hergestellt sind.

Außerdem muß bei dieser Alternative noch berücksichtigt werden, daß die Leitungslänge zwischen den einzelnen Wandlern und der Auswerteschaltstufe das Meßergebnis beeinflußt, da jedes Kabel eine Kapazität aufweist, die von der Leitungslänge abhängt. Daher wird — wie in Fig. 1 angedeutet — vorgeschlagen, daß man bei den kürzeren Kabeln vor die Auswerteschaltstufe einen Kondensator 50 mit einer solchen Kapazität vorschaltet, daß die gesamte Kapazität derjenigen des längsten Kabels entspricht. Damit ist auch der Einfluß unterschiedlicher Kabellängen kompensiert.

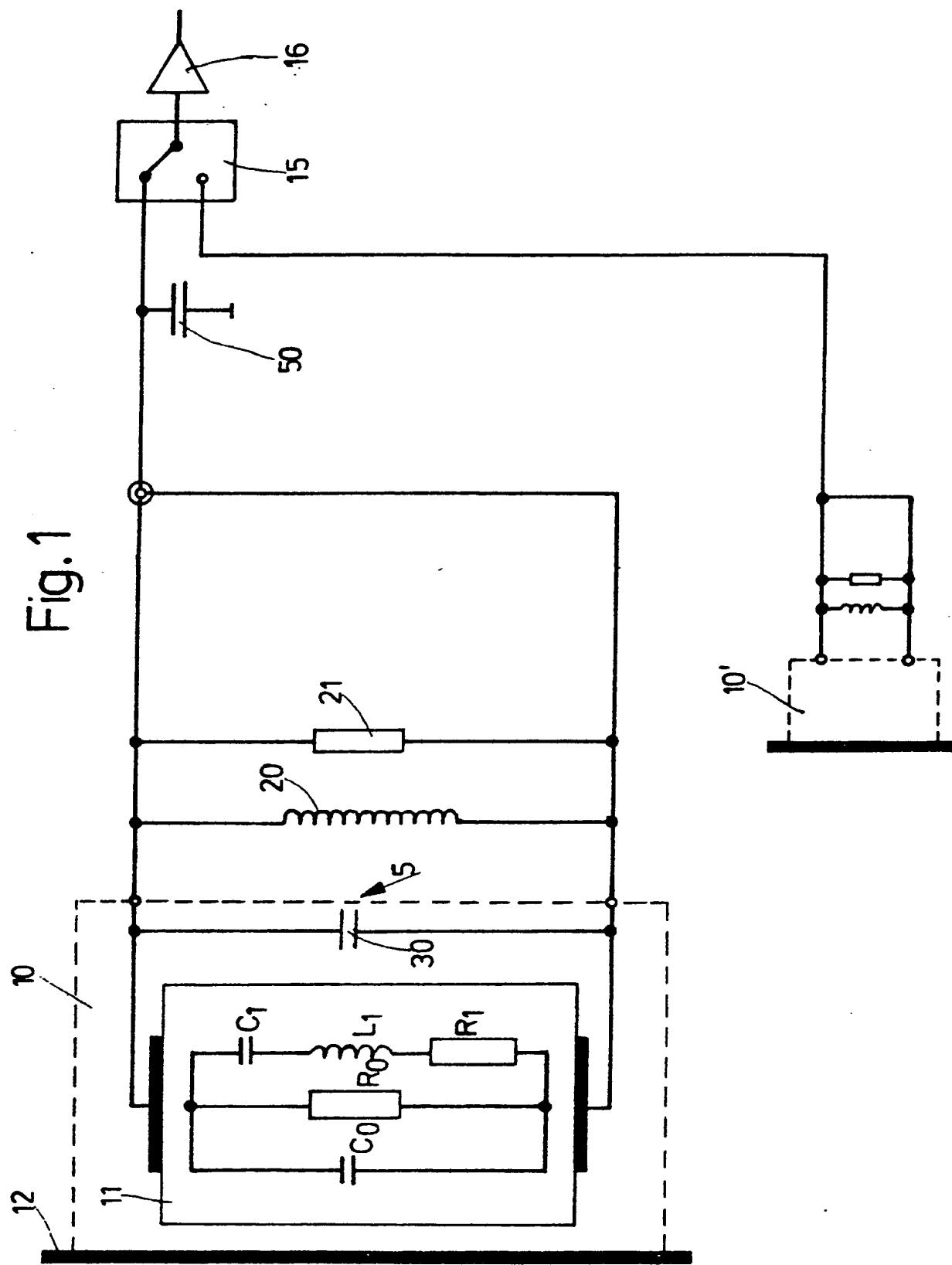
Anhand von Fig. 3 wird im folgenden ein Ausführungsbeispiel erläutert, bei dem ein automatischer Abgleich erfolgt. Man erkennt in Fig. 3 eine Schaltstufe 60, über die mehrere Schaltergruppen 61 bzw. 62 geschaltet werden können. Jeder Einzelschalter der Schaltergruppe 61 schaltet dem Wandler 10 eine Induktivität 20 bestimmter Größe parallel. Die Einzelschalter der Schaltergruppe 62 schalten dagegen dem Wandler 10 einen bestimmten ohmschen Widerstand 21 parallel. Die Werte der einzelnen Induktivitäten bzw. Widerstände sind vorzugsweise im Verhältnis 1 zu 0,5 zu 0,25 etc. zueinander festgelegt. Diese Induktivitäten oder Widerstände können einzeln oder auch in beliebigen Kombinationen dem Wandler parallelgeschaltet werden. In Abhängigkeit von dem oder den Ausgangssignalen der Schaltstufe 60 können also die für ein optimales Verhalten des Wandlers notwendigen Induktivitäten mit geringen Unterschieden abgestuft parallelgeschaltet werden.

Wesentlich für diese Alternative ist nun, daß diese Schaltstufe 60 bestimmte Wandereigenschaften erfaßt. Beispielsweise kann diese Schaltstufe so ausgebildet sein, daß sie die elektrische Parallelkapazität CO des Wandlers mißt. Die Schaltstufe 60 könnte dabei beispielsweise die Auf- und Entladezeit des mit einem Gleichspannungsimpuls gespeisten Kondensators CO messen, woraus sich der Kapazitätswert ableiten läßt. In Abhängigkeit davon werden dann eine oder mehrere Schalter der beiden Schalterbaugruppen 61 bzw. 62 geschlossen und die entsprechenden Induktivitäten und Widerstände dem Wandler parallelgeschaltet. Natürlich könnte die Schaltstufe auch wechselstrommäßig den Wert der Kapazität CO erfassen. Wenn dieser Maßvorgang und das entsprechende Zuschalten der Induktivitäten und Widerstände in regelmäßigen Abständen erfolgt, wird auch der Temperaturgang des Wandlers berücksichtigt. Außerdem kann auf einen manuellen Abgleich bei der Herstellung der Wandler verzichtet wer-

den, da durch diesen selbsttätigen Abgleich evtl. unterschiedliche Wandereigenschaften berücksichtigt werden, so daß auch ein späterer Austausch dieser Wandler problemlos durchgeführt werden kann.

5 Die Schaltstufe 60 könnte auch so ausgelegt werden, daß sie die Hüllkurve des Wandlersendesignals auswertet und insbesondere in Abhängigkeit von der Steilheit dieser Hüllkurve ein oder mehrere Schalter dieser Schalterbaugruppen betätigt. Denkbar wäre auch eine 10 Ausführung derart, daß diese Schaltkurve die Hüllkurve des Wandlersendesignals mit einer vorgegebenen, gespeicherten Hüllkurve vergleicht und durch Zuschaltung der entsprechenden Induktivitäten und Widerstände schrittweise eine Annäherung der tatsächlichen Hüllkurve an die Sollkurve vornimmt.

Natürlich sind auch zu dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 3 Modifikationen möglich. So könnte die Schaltstufe 60 anstelle unterschiedlicher Induktivitäten auch unterschiedliche Kondensatoren 30 dem Wandler parallel schalten, um damit die unerwünschten Effekte zu kompensieren.



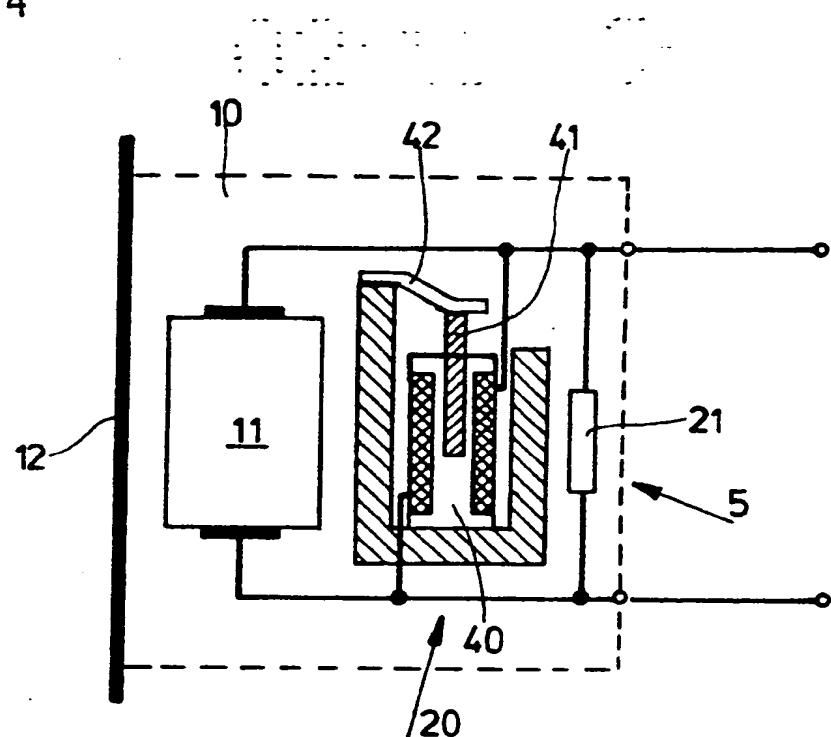


Fig. 2

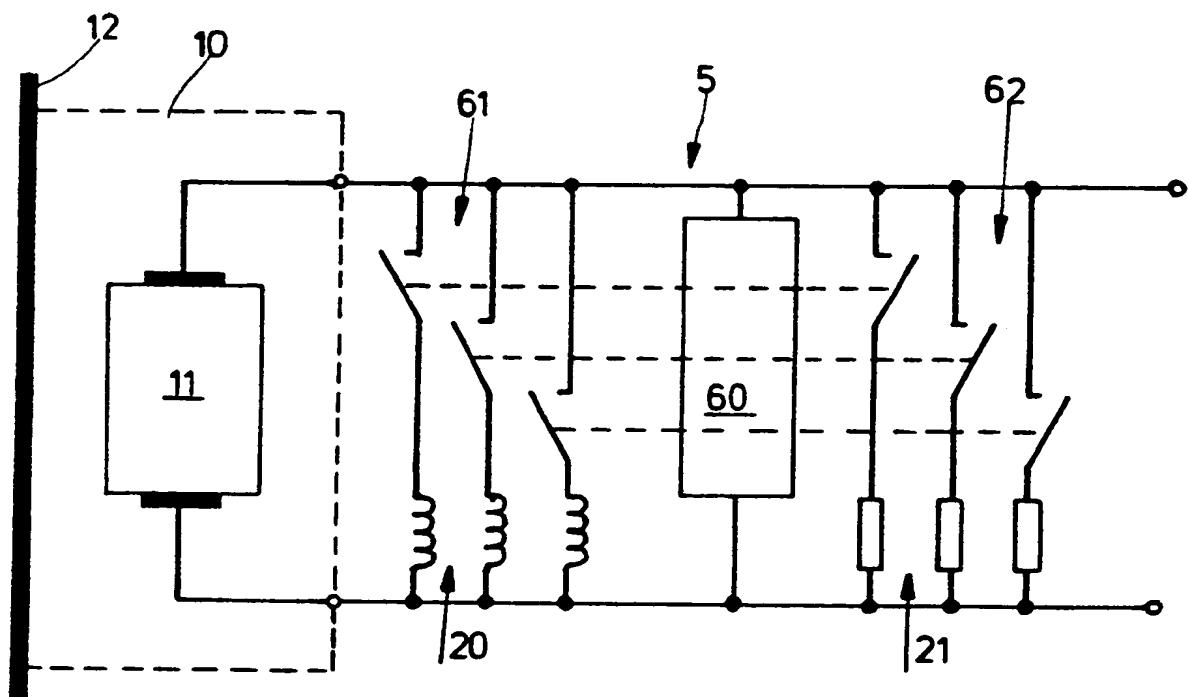


Fig. 3



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Patentschrift  
⑯ DE 196 52 801 C 1

⑮ Int. Cl. 6:  
H 02 N 2/00  
F 02 M 51/06  
F 02 D 41/20

81

⑯ Aktenzeichen: 196 52 801.1-32  
⑯ Anmeldetag: 18. 12. 96  
⑯ Offenlegungstag: -  
⑯ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 4. 98

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:  
Siemens AG, 80333 München, DE

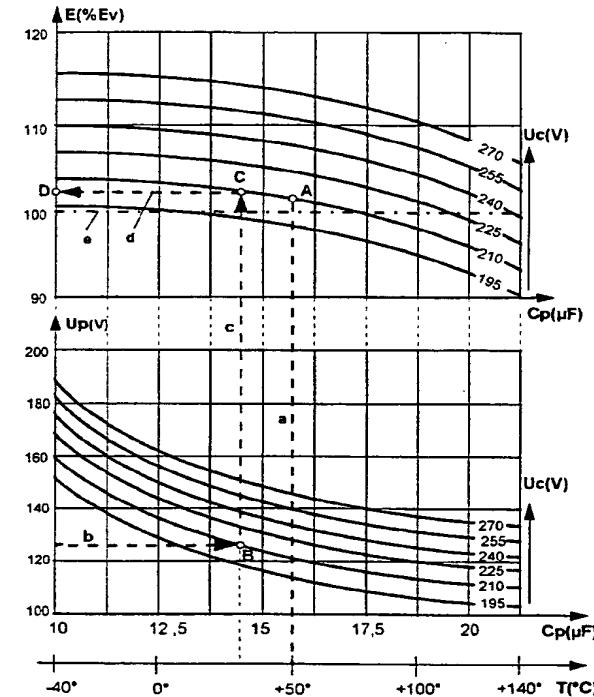
⑯ Erfinder:  
Hoffmann, Christian, Dr., 93057 Regensburg, DE;  
Freudenberg, Hellmut, 93080 Pentling, DE; Gerken,  
Hartmut, 93152 Nittendorf, DE; Hecker, Martin,  
93053 Regensburg, DE; PirkI, Richard, 93053  
Regensburg, DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 1 96 44 521 A1  
US 53 87 834

⑯ Verfahren und Vorrichtung zum Ansteuern wenigstens eines kapazitiven Stellgliedes

⑯ Ein kapazitives Stellglied wird mit definierter Lade-  
spannung  $U_c$  geladen. Aus einem gespeicherten Kenn-  
feld  $KF$  wird die momentane Stellgliedkapazität  $C_p$  aus  
Ladespannung  $U_c$  und Stellgliedspannung  $U_p$  ermittelt  
und aus Ladespannung  $U_c$  und Stellgliedkapazität  $C_p$   
wird die dem Stellglied zugeführte Energie  $E$  bestimmt.  
Entsprechend der Abweichung der dem Stellglied zuge-  
führten Energie  $E$  von einem vorgegebenen Energiebe-  
trag  $E_v$  wird die Ladespannung  $U_c$  für den nächsten An-  
steuervorgang des Stellgliedes geregelt; der gleiche Vor-  
gang ergibt sich für weitere Stellglieder.



DE 196 52 801 C 1

DE 196 52 801 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes, insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine.

Piezo-Stellglieder bestehen aus einer Vielzahl piezokeramischer Schichten und bilden einen sog. "Stack", der bei Anlegen einer Spannung seine Abmessungen, insbesondere seine Länge  $s$  um einen Hub  $ds$  verändert, oder bei mechanischem Druck oder Zug eine elektrische Spannung erzeugt.

Die elektrischen Eigenschaften eines derartigen Piezostacks ändern sich mit der Temperatur, der er ausgesetzt ist. Mit steigender Temperatur vergrößert sich seine Kapazität, aber auch der Hub nimmt zu. Bei den für automotive Anwendungen zu berücksichtigenden Temperaturen von etwa  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+140^{\circ}\text{C}$  sind dabei Änderungen bis zu einem Faktor 2 zu beobachten.

Aus US 5,387,834 ist eine Ansteuerschaltung für ein piezoelektrisches Element eines Matrix-Druckers bekannt, bei welcher ein Temperatursensor die Temperatur des piezoelektrischen Elements fühlt. Die Ansteuerung des piezoelektrischen Elements erfolgt mit Ladezeiten, welche temperaturabhängig in einer Tabelle gespeichert sind.

In der älteren deutschen Patentanmeldung 196 44 521.3 wurde bereits vorgeschlagen, ein kapazitives Stellglied mit konstanter Energie anzusteuern, da eine Aufladung mit konstanter Energie über den benötigten Temperaturbereich einen wesentlich konstanteren Hub erbringt.

Der Hub ändert sich etwa linear mit der angelegten Spannung bei einer bestimmten Stellgliedkapazität bzw. einer bestimmten Temperatur. Ändert sich die Temperatur, so ändert sich auch der Hub bei gleichbleibender Spannung. Hingegen ändert sich der Hub proportional zum Quadrat der aufgebrachten Energie ( $ds \sim e^2$ ), aber unabhängig von der Temperatur.

Einem Stellglied eine bestimmte Energiemenge zuzuführen, ist sehr aufwendig. Beim Gegenstand der älteren deutschen Patentanmeldung 196 44 521.3 müssen Strom und Spannung gemessen, das Produkt daraus auf integriert, und der Ladevorgang abgebrochen werden, wenn der Integrationswert einen vorgegebenen Wert  $e = \int u dt$  erreicht. Eine Vereinfachung ergibt sich, wenn das Stellglied mit einem Konstantstrom geladen wird. Dann erübrigt sich eine Multiplikation.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Ansteuern eines kapazitiven Stellgliedes mit einem vorgegebenen Energiebetrag anzugeben, welches einfacher durchzuführen ist. Aufgabe der Erfindung ist es auch, eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens zu schaffen.

Diese Aufgabe wird erfahrungsgemäß durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Ein Ausführungsbeispiel nach der Erfindung ist im folgenden unter Bezugnahme auf die schematische Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Kennfeld KF für den Zusammenhang zwischen Stellgliedkapazität  $C_p$ , Ladespannung  $U_c$ , Stellgliedspannung  $U_p$  und Energie  $E$ .

Fig. 2 ein Schaltbild einer Ansteuerschaltung für mehrere Stellglieder, und

Fig. 3 ein Flußdiagramm für die Arbeitsweise der Schaltung nach Fig. 2.

Die Erfindung geht von der Überlegung aus, daß es sich bei den Veränderungen der Stellgliedkapazität  $C_p$  um temperaturbedingte Veränderungen handelt, die eine gegenüber dem zeitlichen Abstand aufeinanderfolgender Stellgliedbe-tätigungen bei einer Brennkraftmaschine sehr große Zeitkonstante aufweisen. Es ist deshalb nicht erforderlich, die

Regelung der Aufladung im Regelzyklus (Ansteuervorgang) selbst durchzuführen, sondern es genügt vollkommen, eine Regelabweichung in einem Ansteuervorgang festzustellen und diese Regelabweichung im darauffolgenden Ansteuervorgang zu korrigieren.

Fig. 1 zeigt ein Kennfeld mit zwei experimentell ermittelten oder berechneten Diagrammen, welche den Zusammenhang zwischen Stellgliedkapazität  $C_p$ , Ladespannung  $U_c$ , Stellgliedspannung  $U_p$  und Energie  $E$  darstellen. Das obere Diagramm zeigt über der temperaturabhängigen Stellgliedkapazität  $C_p$  ( $T$  und  $C_p$  auf der Abszisse aufgetragen) die für verschiedene Ladespannungen  $U_c$  erreichbare Energie  $E$  im Stellglied, während das untere Diagramm ebenfalls über der temperaturabhängigen Stellgliedkapazität  $C_p$  auf der Abszisse die für diese Ladespannungen  $U_c$  erzielbare Stellgliedspannung  $U_p$  darstellt.

Es kann für jedes Stellglied  $P_1$  bis  $P_n$  ein eigenes Kennfeld KF vorgesehen sein, es kann aber auch für alle Stellglieder oder für jede Stellgliedgruppe ein gemeinsames Kennfeld KF vorgesehen sein.

Durch Betrachtung der Ladespannung  $U_c$  und der damit erreichten Stellgliedspannung  $U_p$  kann auf eine Strommessung, Multiplikation und Integration, wie oben beschrieben, verzichtet werden. Aufgrund des eindeutigen Zusammenhangs zwischen den genannten Größen kann auf annähernd konstante Energie  $E_v$  geregelt werden. Ein Wert  $E_v$ , relativiert auf 100%  $E_v$ , ist in Fig. 1 als strichpunktierter Gerade eingezeichnet.

Eine Regelung auf konstante Energie ist insbesondere dann wichtig, wenn die Kapazität  $C_c$  des Ladekondensators  $C$  von der Stellgliedkapazität  $C_p$  erheblich abweicht. Die in Fig. 1 dargestellten Diagramme entsprechen einer Schaltung nach Fig. 2, in der die Kapazität  $C_c$  der Reihenschaltung aus den Kondensatoren  $C_1 + C_2$  etwa halb so groß ist wie die Kapazität  $C_p$  eines Stellgliedes  $P$ :  $C_c = C_p/2$ .

Das erfahrungsgemäße Verfahren wird anhand einer in Fig. 2 dargestellten Schaltung näher beschrieben. Die Ansteuerung von weiter nicht dargestellten  $n$  Kraftstoffeinspritzventilen einer Brennkraftmaschine über piezoelektrische Stellglieder  $P_1$  bis  $P_n$  erfolgt mittels einer Steuerschaltung ST, die Teil eines weiter nicht dargestellten mikroprozessor-gesteuerten Motorsteuergerätes ist.

Zwischen dem Pluspol  $+U_c$  und dem Minuspol GND einer steuerbaren Spannungsquelle SNT vorzugsweise eines Schaltnetzteils, ist ein Ladekondensator  $C_1$  angeschlossen, welcher als Ausgangskondensator des Schaltnetzteils SNT betrachtet werden kann und auf dessen Ausgangsspannung  $U_c$  aufgeladen ist. Parallel zum Ladekondensator  $C_1$  ist eine Reihenschaltung aus einem mit dem Pluspol  $+U_c$  verbundenen, von ihm weg stromdurchlässigen Ladeschalter  $X_1$  und einem mit dem Minuspol GND verbundenen, zu ihm hin stromdurchlässigen Entladeschalter  $X_2$  angeordnet.

Wenn von Schaltern  $X_1$  und  $X_2$  die Rede ist, handelt es sich um elektronische, nur in einer Richtung stromdurchlässige, aus wenigstens einem Halbleiterelement bestehende Schalter, vorzugsweise Thyristorschalter, die von der Steuerschaltung leitend gesteuert werden.

Zwischen dem Verbindungspunkt von Ladeschalter  $X_1$  und Entladeschalter  $X_2$  und dem Masseanschluß GND liegt eine Reihenschaltung aus einem Umladekondensator  $C_2$ , einer Umschwingspule  $L$ , einem ersten Stellglied  $P_1$  und einem ersten, gesteuerten Power-MOSFET-Schalter  $T_1$ .

Für jedes weitere Stellglied  $P_2$  bis  $P_n$  ist eine Reihenschaltung aus diesem Stellglied und einem weiteren Power-MOSFET-Schalter  $T_2$  bis  $T_n$  der Reihenschaltung aus dem ersten Stellglied  $P_1$  und dem ersten Power-MOSFET-Schalter  $T_1$  parallel geschaltet.

Parallel zu den Reihenschaltungen aus Stellglied und

Power-MOSFET-Schalter ist eine vom Masseanschluß GND weg zur Umschwingspule L hin stromdurchlässige Diode D angeordnet. Power-MOSFET-Schalter enthalten üblicherweise Inversdioden, deren Funktion, wie weiter unten näher erläutert, beim Betrieb der erfindungsgemäßen Vorrichtung benutzt wird.

Die Schalter X1, X2 und T1 bis Tn werden von der Steuerschaltung ST entsprechend einem dem erfindungsgemäßen Verfahren zugeordneten Programm, abhängig von Steuersignalen st des Motorsteuergerätes, von der erreichten Stellgliedspannung Up und vom Istwert Uc2 der Spannung am Umladekondensator C2 nach dem Entladen des Stellgliedes, anhand eines in der Steuerschaltung ST gespeicherten Kennfeldes KF nach Fig. 1 gesteuert.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum aufeinanderfolgenden Ansteuern mehrerer kapazitiver Stellglieder wird nachstehend anhand des in Fig. 3 dargestellten Flußdiagramms unter Zugrundeliegung der in Fig. 2 gezeigten Schaltung für ein Stellglied P1 näher erläutert. Die einzelnen Kästchen, den jeweiligen Verfahrenszuständen zugeordnet, sind mit römischen Zahlen gekennzeichnet.

Bei einem Zustand III (während des Betriebes), in welchem die Umschwingspule L stromlos ist, alle Schalter X1, X2 und T1 bis Tn nichtleitend (hochohmig) und alle Stellglieder P1 bis Pn entladen sind, soll das Stellglied P1 betätigt werden, um über das zugeordnete Einspritzventil Kraftstoff in den Zylinder 1 einzuspritzen. Die Ladespannung Uc = Uc1 + Uc2 wird beim ersten Ansteuervorgang I bei Inbetriebnahme des Fahrzeuges vorgegeben. Zustand 0.

Beim ersten Ansteuervorgang ist der Umladekondensator C2 entladen. Es findet ein Einschwingvorgang statt, der einen oder mehrere Ladezyklen dauern kann, bis die beim Entladen des Stellgliedes rückgelieferte Spannung Uc2 am Umschwingkondensator C2 nach jedem Entladevorgang beispielsweise einen Wert Uc2 > +100 V erreicht. Die maximale Ladespannung Ucmax = Uc1 + Uc2 soll beispielsweise +270 V betragen.

Zunächst wählt die Steuerschaltung das entsprechende Stellglied (hier P1) aus, Zustand IV, indem sie den ihm zugeordneten Power-MOSFET-Schalter T1 leitend steuert. T1 kann über einen Kurbelwellenwinkel KW = 729°KW/Z (Z = Zahl der Zylinder) leitend (niederohmig) bleiben, das sind beispielsweise bei Vierzylindermotoren 180°KW und bei Sechszylindermotoren 120°KW.

Beim ersten Ansteuervorgang wählt die Steuerschaltung ST in dem im oberen Diagramm des Kennfeldes KF in Fig. 1 eine gespeicherte, experimentell ermittelte oder berechnete Kennlinie der Ladespannung Uc (+210 V) aus, welche bei dem der momentanen Stellgliedtemperatur entsprechenden Kapazitätswert des Stellgliedes P1 oberhalb der gewünschten, dem Stellglied zuzuführenden Energie Ev (im Diagramm durch eine strichpunktiierte Linie e gekennzeichnet) liegt, Zustand 0. Da in der Regel die Stellgliedtemperaturen nicht zur Verfügung stehen, kann als Ersatzgröße die Motortemperatur T (im Ausführungsbeispiel +50°C) herangezogen werden, siehe strichlierte Linie a bis zum Punkt A in Fig. 1, um einen Näherungswert für die momentane Stellgliedkapazität Cp zu erhalten.

Bei einer einfacheren Ausführung kann einfach ein Anfangswert für die Ladespannung Uc (beispielsweise +210 V) unabhängig von der Temperatur vorgegeben sein.

Nach ein oder mehreren Ansteuervorgängen (Einschwingvorgängen) des Stellgliedes P1 sei nach Beendigung eines Entladevorgangs die Spannung des Umladekondensators C2 beispielsweise Uc2 = +120 V.

Beim nächsten Einspritzbeginn, der durch den Beginn eines Steuersignals st = 1 (Zustand V) vorgegeben ist, wird von der Steuerschaltung ST der Ladeschalter X1 gezündet

(Zustand VI). Dadurch entlädt sich die an der Reihenschaltung aus C1 und C2 liegende Ladespannung Uc = +210 V während einer kompletten Sinushalbschwingung über die Umschwingspule L, in das Stellglied P1 und dieses öffnet das nicht dargestellte Einspritzventil. Die Spannungsquelle – das Schaltnetzteil SNT – bleibt mit dem Ladekondensator C1 verbunden, so daß auch sie Energie in den Schwingkreis einspeist.

Nach dem Umschwingen verlischt der Ladeschalter X1 von selbst (Zustand VII), das Stellglied P1 ist beispielsweise auf Up = +126 V geladen.

Der Wert der Stellgliedspannung Up = +126 V wird der Steuerschaltung mitgeteilt, welche im Kennfeld KF (Fig. 1) aus Uc = +210 V und Up = +126 V die dem Stellglied zugeführte Energie bestimmt (Zustand VIII).

Dazu wird im unteren Diagramm des Kennfeldes KF im Schnittpunkt B (Uc = +210 V; Up = +126 V, strichlierte Linie b) der momentane Kapazitätswert Cp ≈ 14.5 µF des Stellgliedes P1 bestimmt, und anschließend im oberen Diagramm (Schnittpunkt 0 von Cp = 14.5 µF; Uc = +210 V, gestrichelte Linie c) die zugeführte Energie zu E ≈ 102.5% Ev (strichlierte Linie d; Punkt D) ausgelesen.

Je nach "Empfindlichkeit" der Regelung liegt dieser Wert entweder innerhalb eines Toleranzbandes Ev + AE der gewünschten Energie (Zustand XI), wobei der nächste Ansteuervorgang mit unveränderter Ladespannung Uc = +210 V durchgeführt wird, oder es wird für den nächsten Ansteuervorgang des Stellgliedes P1 ein neuer Wert für die Ladespannung Uc bestimmt, in diesem Ausführungsbeispiel,

weil E > Ev + AE etwas größer als der gewünschte Wert ist (Zustand IX), beispielsweise von vorgegebenen gespeicherten Stützwerten interpoliert, oder inkrementell um  $\Delta U = 5$  V verringert (Zustand XII), auf +205 V festgelegt. Dieser Wert ergibt dann im nächsten Ansteuervorgang des Stellgliedes P1, gleiche Stellgliedkapazität vorausgesetzt, etwa einen Wert für die übertragene Energie von E = Ev. Ist die übertragene Energie jedoch kleiner, E < Ev (Zustand X), so wird Uc beim nächsten Ansteuervorgang um  $\Delta U = 5$  V auf Uc = +215 V erhöht (Zustand XIII).

Bei Stellgliedspannungen Up oberhalb eines vorgegebenen Maximalwertes Upmax – beispielsweise +160 V – findet vorzugsweise eine reine Spannungsregelung gemäß dem unteren Diagramm von Fig. 1 statt, um die Stellgliedspannung auf diesen Wert zu begrenzen.

Zum Entladen des Stellgliedes P1 am Ende eines Steuersignals st (Zustand XIV) wird der Entladeschalter X2 gezündet (Zustand XV). Der Entladestromkreis schließt sich über die Inversdiode des Power-MOSFET-Schalters T1. Die im Stellglied gespeicherte Energie schwingt über die Umschwingspule L in den Kondensator C2 zurück, der auf den bereits erwähnten Wert Uc2 = +120 V geladen wird; die im Umladekondensator C2 gespeicherte Energie kann für den folgenden Zyklus genutzt werden.

Sobald das Stellglied auf die Schwellspannung der dem "aktiven" Kanal parallel liegenden Diode D entladen ist, setzt sich der noch fließende Strom über diese Diode fort, wodurch ein Aufladen des Stellgliedes auf eine negative Spannung verhindert wird. Anschließend verlischt der Entladeschalter X2 von selbst (Zustand XVI).

Für den nächsten Ansteuervorgang des Stellgliedes P1 muß der Ladekondensator C1 auf eine Spannung Uc1 = Uc - Uc2 aufgeladen werden, wozu Uc2 = +120 V gemessen wird (Zustand I). Damit kann Uc1 = Uc - Uc2 = +205 V - 120 V = +85 V ermittelt werden (Zustand II). Auf diesen

Wert wird das Schaltnetzteil SNT für den nächsten Ansteuervorgang des Stellgliedes P1 eingestellt und damit der Ladekondensator C1 auf Uc1 = +85 V geladen. Mit den in diesem Ansteuervorgang ermittelten Werten wird der nächste

Ansteuervorgang, ab Zustand III, durchgeführt. Die Ansteuervorgänge für die anderen Stellglieder P2 bis Pn entsprechen dem beschriebenen Verfahren für das Stellglied P1.

## Patentansprüche

5

1. Verfahren zum Ansteuern wenigstens eines kapazitiven Stellgliedes (P), insbesondere eines piezoelektrisch betriebenen Kraftstoffeinspritzventils einer Brennkraftmaschine, mit einem vorgebbaren Energiebetrag (Ev), dadurch gekennzeichnet,
  - daß am Beginn eines Ansteuervorgangs das Stellglied (P1 bis Pn) über eine Umschwingspule (L) aus einer Reihenschaltung eines Ladekondensators (C1) und eines Umladekondensators (C2) mit einer vorgebbaren Ladespannung ( $U_c = U_{c1} + U_{c2}$ ) geladen wird und am Ende des Ansteuervorgangs in den Umladekondensator (C2) wieder entladen wird,
  - daß aus der Ladespannung ( $U_c$ ) und der damit am Stellglied erreichten Stellgliedspannung ( $U_p$ ) der temperaturabhängige Kapazitätswert ( $C_p$ ) des Stellgliedes (P1 bis Pn) ermittelt wird,
  - daß aus diesem Kapazitätswert ( $C_p$ ) und der Ladespannung ( $U_c$ ) der dem Stellglied (P1 bis Pn) zugeführte Energiebetrag (E) ermittelt wird, und
  - daß für den nächsten Ansteuervorgang desselben Stellgliedes (P1 bis Pn) die Ladespannung ( $U_c$ ) abhängig von der Differenz ( $Ev - E$ ) von vorgegebenem Energiebetrag (Ev) und zugeführtem Energiebetrag (E) erhöht oder abgesenkt wird, und
  - der Ladekondensator (C1) auf eine der Differenz zwischen dieser bestimmten Ladespannung ( $U_c$ ) und der momentan am Umladekondensator (C2) anliegenden Spannung ( $U_{c2}$ ) entsprechende Spannung ( $U_{c1} = U_c - U_{c2}$ ) aufgeladen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Stellgliedkapazitätswerte ( $C_p$ ), abhängig von der Ladespannung ( $U_c$ ) und von der damit am Stellglied (P) erreichten Stellgliedspannung ( $U_p$ ), dem Stellglied (P) zugeführte Energiebetragswerte (E), abhängig von der Ladespannung ( $U_c$ ) und von diesen ermittelten Stellgliedkapazitätswerten ( $C_p$ ), und ein vorgegebener, dem Stellglied zuzuführender Energiebetrag (Ev)
  - als experimentell ermittelte oder berechnete Werte in einem Kennfeld (KF) nichtflüchtig abgespeichert sind.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Stellglied (P1 bis Pn) ein eigenes Kennfeld (KF) vorgesehen ist.
4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß für alle Stellglieder (P1 bis Pn) oder für jede Stellgliedgruppe ein gemeinsames Kennfeld (KF) vorgesehen ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Betriebsbeginn für den ersten Ansteuervorgang jedes Stellgliedes (P1 bis Pn) ein Wert für die Ladespannung ( $U_c$ ) vorgegeben wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der vorgegebene Wert für die Ladespannung ( $U_c$ ) von der Motortemperatur (T) abhängig ist.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Maximalwert ( $U_{pmax}$ ) für die Stellgliedspannung ( $U_p$ ) vorgegeben ist, und daß bei Stellgliedspannungen ( $U_p$ ) oberhalb dieses Maximalwertes ( $U_{pmax}$ ) eine reine Spannungsregelung ( $U_c\{U_p\}$ ) stattfindet.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Pluspol (+Uc1) und dem Minuspol (GND) einer von einer Steuerschaltung (ST) steuerbaren Spannungsquelle (SNT) ein Ladekondensator (C1) angeordnet ist,
  - daß parallel zum Ladekondensator (C1) eine Reihenschaltung aus einem mit dem Pluspol (+Uc1) verbundenen, von ihm weg stromdurchlässigen Ladeschalter (X1) und einem mit dem Minuspol (GND) verbundenen, zu ihm hin stromdurchlässigen Entladeschalter (X2) angeordnet ist,
  - daß zwischen dem Verbindungspunkt von Ladeschalter (X1) und Entladeschalter (X2) und dem Masseanschluß (GND) eine Reihenschaltung aus einem mit dem Ladeschalter (X1) verbundenen Umladekondensator (C2), einer Umschwingspule (L), einem ersten Stellglied (P1) und einem ersten gesteuerten Power-MOSFET-Schalter (T1) angeordnet ist,
  - daß für jedes weitere Stellglied eine Reihenschaltung aus diesem Stellglied (P2 bis Pn) und einem weiteren Power-MOSFET-Schalter (T2 bis Tn) der Reihenschaltung des ersten Stellgliedes (P1) und des ersten Power-MOSFET-Schalters (T1) parallel geschaltet ist, und
  - daß parallel zur Reihenschaltung aus erstem Stellglied (P1) und Power-MOSFET-Schalter (T1) eine vom Masseanschluß (GND) zur Umschwingspule (L) hin stromdurchlässige Diode (D) angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Steuerschaltung (ST) steuerbare Spannungsquelle (SNT) ein Schaltnetzteil ist.
10. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung (ST), in welcher das Kennfeld (KF) gespeichert ist, ein Teil eines mikroprozessorgesteuerten Motorsteuergerätes ist, daß der Steuerschaltung (ST) als Eingangsgrößen Steuersignale (st) zum Ansteuern der Stellglieder, die am jeweils angesteuerten Stellglied (P1 bis Pn) anliegende Stellgliedspannung ( $U_p$ ) und die am Umladekondensator (C2) anliegende Spannung ( $U_{c2}$ ) zugeführt werden, und welche den Ladeschalter (X1), den Entladeschalter (X2) und die Power-MOSFET-Schalter (T1 bis Tn) gemäß dem Verfahrensablauf nach Fig. 3 steuert.
11. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß Ladeschalter (X1) und Entladeschalter (X2) gesteuerte, elektronische, nur in einer Richtung stromdurchlässige Halbleiterschalter sind.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

**- Leerseite -**

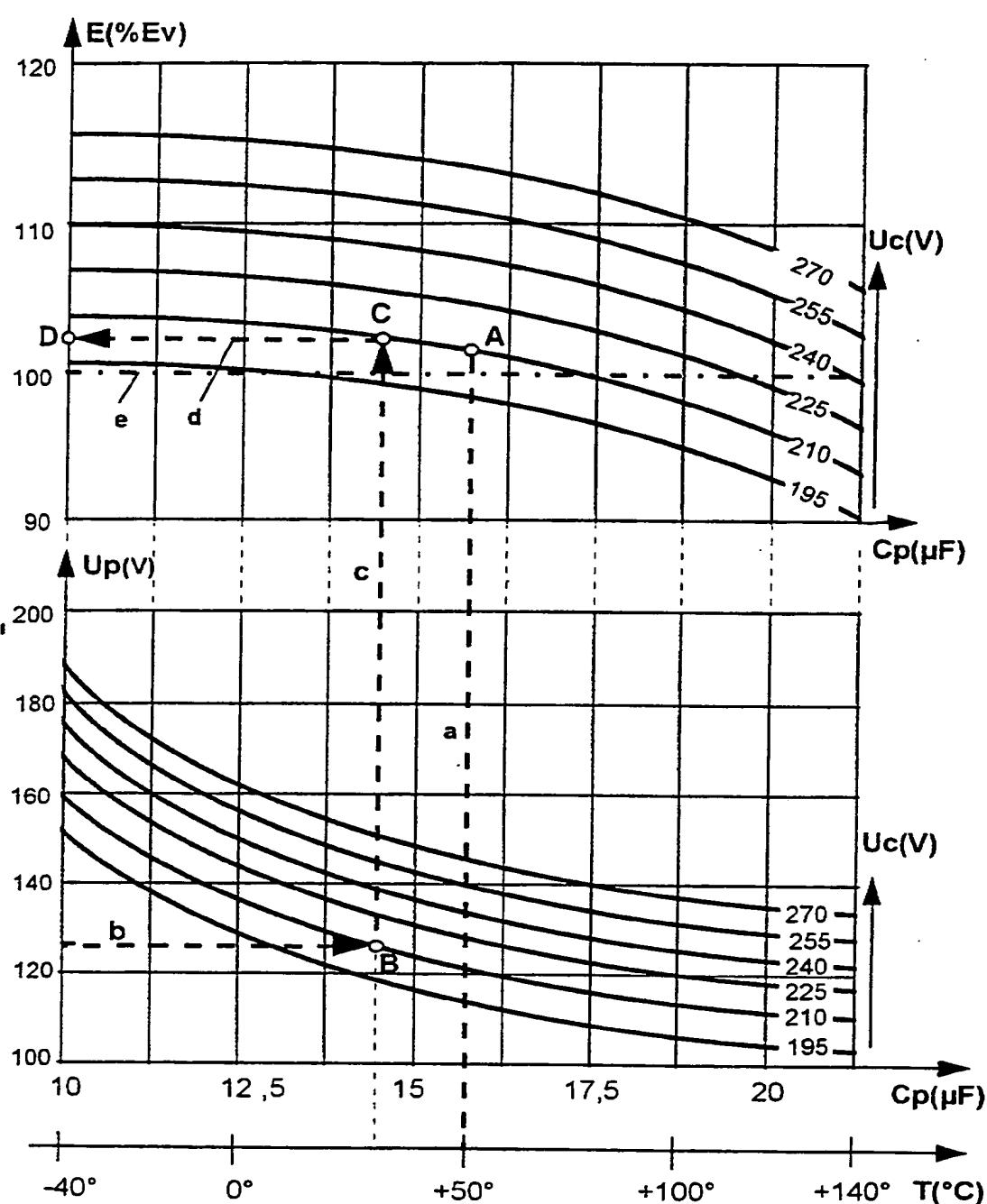


Fig.1

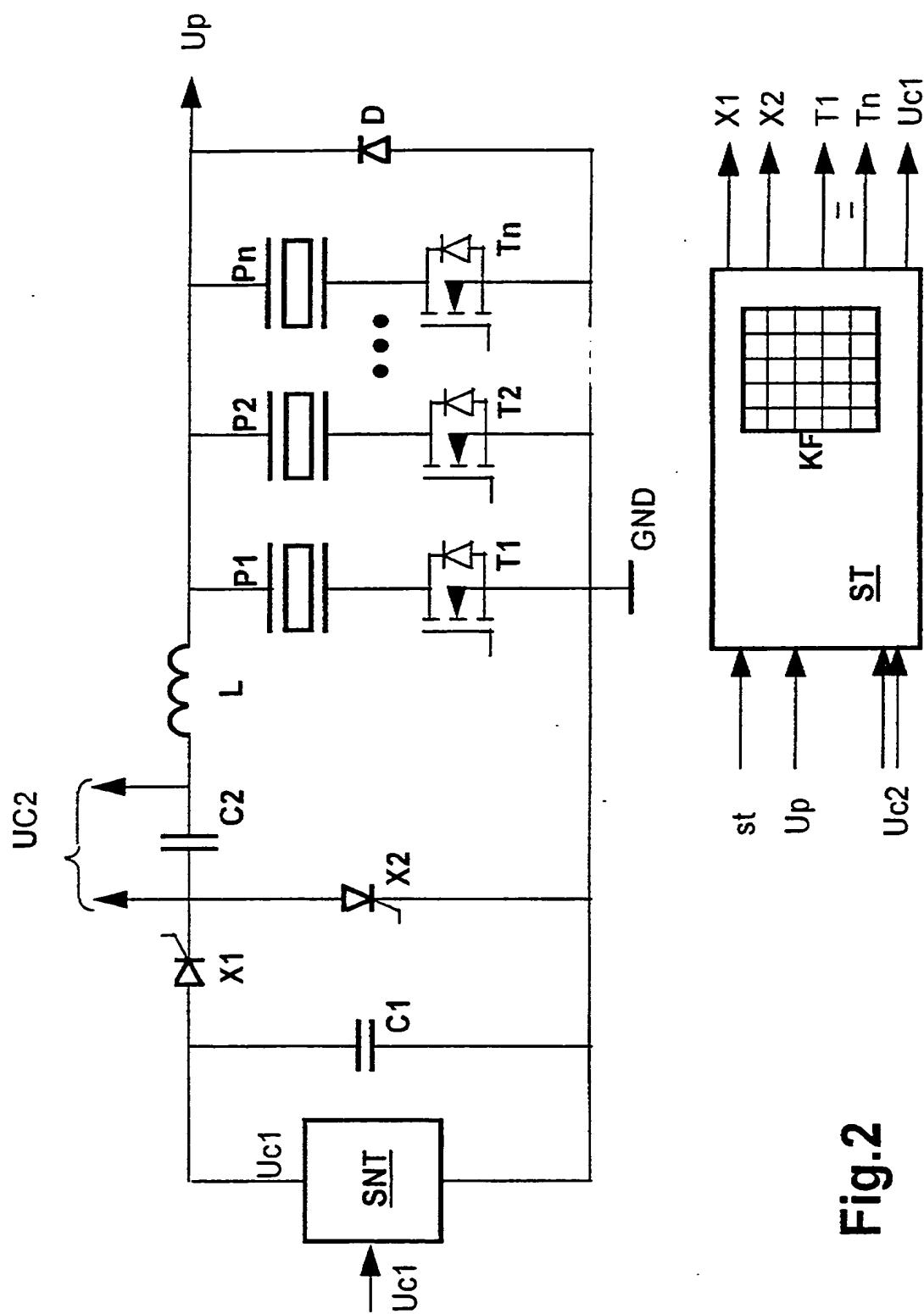


Fig.2

Fig. 3

